

Вселенная под присмотром “Интеграла”

Р.А. СЮНЯЕВ,
академик

Е.М. ЧУРАЗОВ,
член-корреспондент РАН
Институт общества им. М. Планка, Германия
ИКИ РАН

А.А. ЛУТОВИНОВ,
доктор физико-математических наук

М.Г. РЕВНИВЦЕВ,
доктор физико-математических наук

С.Ю. САЗОНОВ,
доктор физико-математических наук

С.А. ГРЕБЕНЕВ,
доктор физико-математических наук
ИКИ РАН

Международная космическая астрофизическая обсерватория гамма-лучей, или “Интеграл” (INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysical Laboratory, “INTEGRAL”), – один из главных инструментов современной астрофизики (Земля и Вселенная, 2003, № 2; 2010, № 1). Это проект Европейского космического агентства, реализованный в широкой международной кооперации, где одну из ключевых ролей играет наша страна. Российские специалисты, в том числе сотрудники ИКИ РАН, принимают непосредственное участие в проекте, начиная с самых ранних его этапов. За более чем 12 лет работы обсерватории “Интеграл” удалось раскрыть природу диффузного рентгеновского излучения Галактики, подтвердить механизм взры-



ва сверхновых типа Ia, открыть сотни новых рентгеновских источников. По данным обсерватории российские ученые опубли-

ковали более 250 работ, которые собрали более 4 тыс. ссылок. Представляем краткий обзор наиболее важных результатов в из-

учении этих объектов Вселенной, полученных в Отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

ПУТЬ НА ОРБИТУ

Начало проекта “Интеграл” тесно связано с СССР и Россией. В 1990 г. Совет “Интеркосмос” и Совет по внеатмосферной астрономии АН СССР выступили с инициативой вывода на мощнейшей советской ракете-носителе “Энергия” комплекса астрофизических приборов из европейских стран. Анализ текущей ситуации показал, что обсерваторию в странах Европы можно создать лишь под менее тяжелую ракету-носитель “Протон”, так что в итоге были предложены три проекта, один из которых – гамма-обсерватория.

Создание космической гамма-обсерватории поддерживали в странах Европы, и в итоге эта идея воплотилась в проекте “Интеграл” (ESA). Отбор проектов в ESA проходил уже после распада Советского Союза. Вновь созданное Российское космическое агентство, Академия наук и Правительство РФ поддержали участие России в проекте.

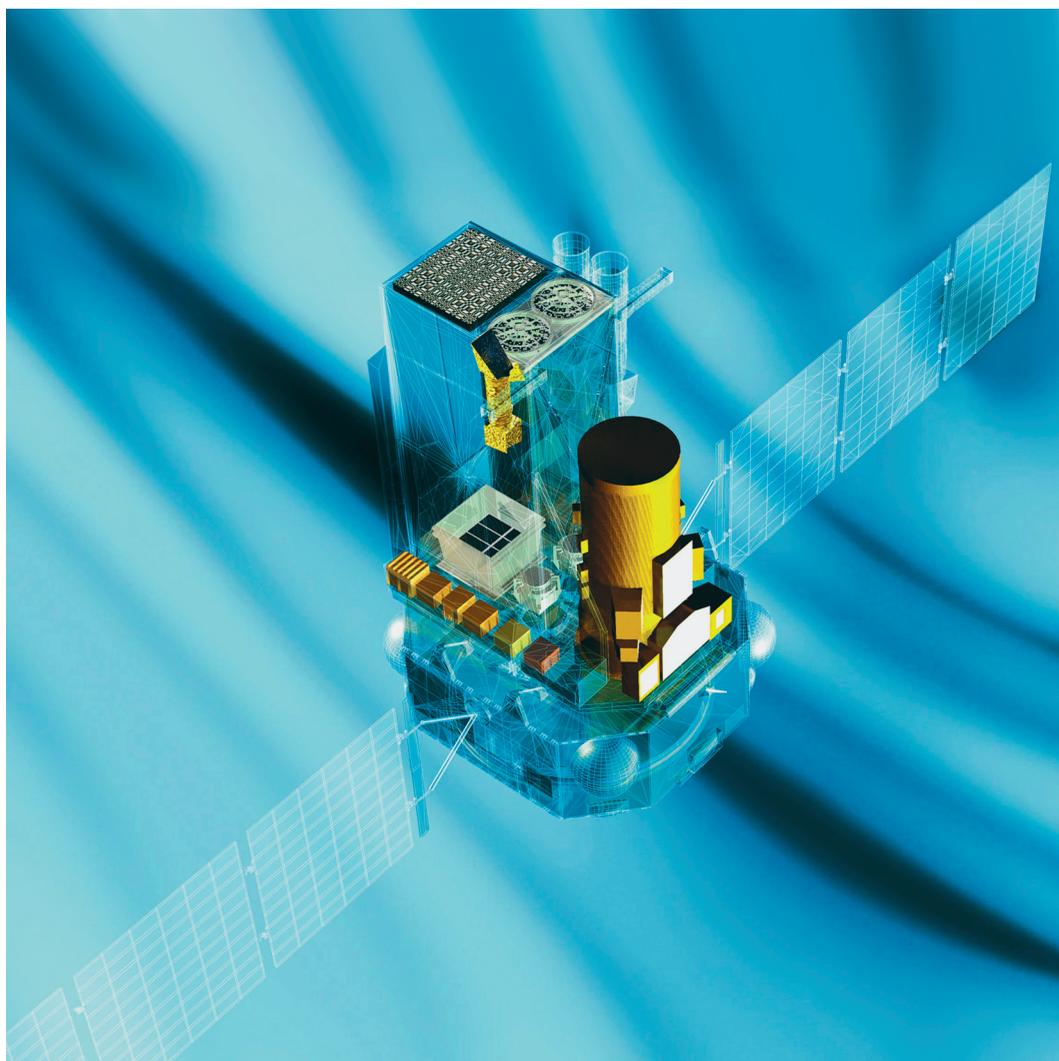
Изначально для вывода на орбиту спутника “Интеграл” рассматривалось три возможных варианта: запуск американским носителем, ев-

ропейской РН “Ариан-5” и российской РН “Протон”. В ходе переговоров с ESA российская сторона предложила, чтобы, если обсерваторию выведет на орбиту РН “Протон”, все дополнительное время наблюдений источников излучения принадлежало российским ученым. Европейцам не нужно будет оплачивать запуск, им гарантируется тот же объем наблюдений, какой был бы при использовании собственного носителя. Предварительные расчеты, выполненные сотрудником ИКИ кандидатом технических наук Н.А. Эйсмонт, показали, что “Протон” может запустить обсерваторию на орбиту, обеспечивающую в 1,5 раза больше наблюдательного времени, чем при запуске американским носителем. После напряженных переговоров с представителями ESA в ИКИ РАН было принято и закреплено соглашением между Росавиакосмосом и ESA компромиссное решение: Россия получает 25% наблюдательного времени. От нашей страны проект возглавил руководитель Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН академик Р.А. Сюняев.

Обсерватория “Интеграл” была успешно выве-

дена на высокоапогейную орбиту 17 октября 2002 г. с космодрома Байконур с помощью ракеты-носителя “Протон” государственного космического научно-производственного центра им. Хруничева с разгонным блоком ДМ Ракетно-космической корпорации “Энергия” им. С.П. Королёва. Выведение обсерватории на промежуточную высокоэллиптическую орбиту, предложенную и рассчитанную Н.А. Эйсмонт, было выполнено с точностью, много лучшей гарантированных величин. Это позволило значительно сократить расход топлива при формировании окончательной орбиты двигателями космического аппарата и, с учетом оптимизации процедур управления ориентацией аппарата, дало возможность увеличить операционное время жизни обсерватории с пяти до почти 30 лет, при соблюдении всех требований по радиационной безопасности.

В январе 2015 г. двигатели обсерватории “Интеграл” скорректировали орбиту. Это первая и, как предполагается, единственная серия маневров коррекции, которая потребовалась, чтобы к 2029 г. “Интеграл” вошел



в атмосферу, разрушился, а его обломки упали вдали от населенных областей земного шара.

Запуск обсерватории “Интеграл” стал возможен благодаря многолетнему труду и поддержке специалистов и ученых Росавиакосмоса (в том числе его руководителя Ю.Н. Коптева и заместителя А.И. Медведчикова), ГКНПЦ им. М.В. Хруниче-

ва (прежде всего в лице генерального конструктора В.К. Карраска), РКК “Энергия” им. С.П. Королёва, Российской академии наук (в частности, академики А.Е. Чудаков и Ю.А. Осипьян), ИКИ РАН.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБСЕРВАТОРИИ

Основные приборы обсерватории – гамма-телескоп с кодирующей

Международная космическая астрофизическая обсерватория гамма-лучей “Интеграл”. Рисунок ESA.

щей апертурой IBIS (разработчики INAF/IASF, Италия и CEA-Saclay, Франция) и гамма-спектрометр SPI высокого энергетического разрешения (CESR, Франция и

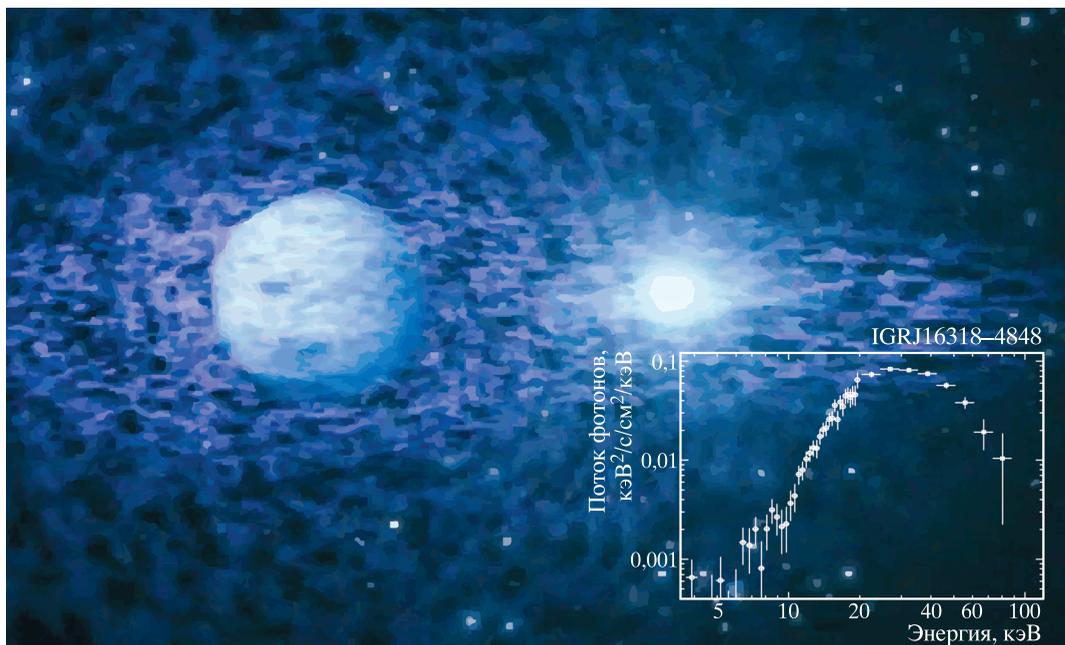
МРЕ, Германия), позволяющие строить изображения рентгеновского неба и проводить спектральный анализ излучения в диапазоне энергий 15 кэВ – 10 МэВ. В качестве вспомогательных приборов используются рентгеновский телескоп JEM-X (DSRI, Дания) и оптический монитор OMC (INTA/LAEFF, Испания). Основные телескопы “Интеграла” обзеревают большие поля зрения –

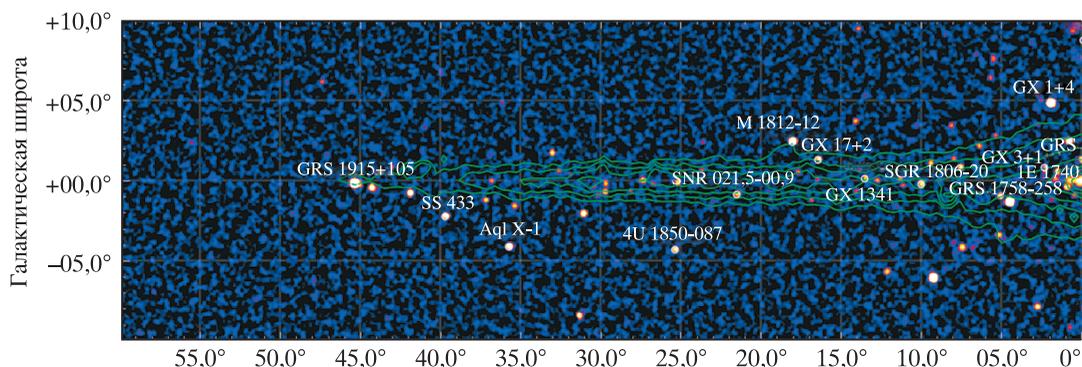
Художественное изображение двойной системы с аккрецирующей нейтронной звездой и мощным звездным ветром. ESA. Во врезке – спектр излучения одной из таких систем. На энергиях ниже 10 кэВ излучение практически полностью поглощено веществом ветра. ИКИ РАН.

30° × 30°, что позволяет следить одновременно за достаточно обширным участком неба. Приборы обсерватории обладают высокой чувствительностью, необходимой для детектирования фотонов таких больших энергий и построения изображений в жестком рентгеновском и мягком гамма-диапазоне. В настоящее время гамма-телескоп IBIS считается лучшим по разрешающей способности среди инструментов данного класса.

Обсерватория “Интеграл” предназначена для проведения сверхтонкой гамма-спектроскопии космического излучения и построения изображений неба в диапазоне энергий от 15 кэВ до 10 МэВ с недостижимой ранее чувствительно-

стью и угловым разрешением. Она позволяет локализовать все галактические и внегалактические источники, исследовать переменность и другие свойства их жесткого излучения и одновременно вести мониторинг в рентгеновском (3–35 кэВ) и оптическом (V-полоса) диапазонах. Это первая лаборатория в космосе, способная детально исследовать космическое излучение в линиях аннигиляции электрон-позитронных пар и в ядерных гамма-линиях, процесс взрывного нуклеосинтеза в сверхновых и новых. С помощью “Интеграла” впервые детально исследована та Вселенная, которая ранее была скрыта от наблюдателей.





Карта центральной части Галактики, построенная по данным наблюдений телескопа IBIS космической обсерватории "Интеграл". ИКИ РАН.

Гамма-телескоп IBIS, предназначенный для построения изображений, использует метод кодирования, или теневых масок. Телескоп устроен так: над позиционно-чувствительным детектором фотонов устанавливается непрозрачная (например, вольфрамовая) пластина с прорезанными в определенном порядке отверстиями – это маска. Когда на телескоп падает поток фотонов, маска отбрасывает тень и на детекторе образуется своеобразный узор засвеченных и темных участков. По этому узору можно восстановить изображение неба в соответствующем диапазоне энергий.

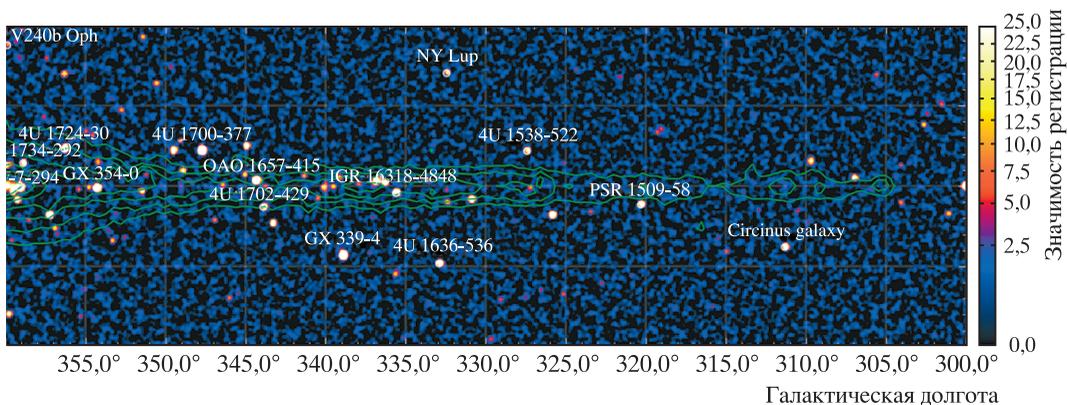
В проекте "Интеграл" впервые в России реализован принцип "национальной обсерватории". Это значит, что любой ученый из российского научного института, университета или обсерватории может подать

заявку на проведение наблюдения интересующего его небесного объекта или источника излучения. Если заявка будет одобрена российским и европейским комитетами по распределению наблюдательного времени, ученый сможет получить данные для наблюдений. Он обладает исключительным правом на использование этой информации и публикацию полученных научных результатов в течение года с момента поступления данных, затем они становятся доступными для всех желающих.

Научные данные, полученные в рамках квоты наблюдательного времени для нашей страны, поступают в Международный центр научных данных обсерватории "Интеграл" (ISDC, Женева, Швейцария), затем становятся доступными для отечественных ученых через Российский центр научных данных

(РЦНД), организованный в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. Благодаря финансированию, выделенному Российской академией наук и Российским фондом фундаментальных исследований, а также поддержке со стороны Института, предоставившего специальные помещения и высокоскоростные каналы связи, в РЦНД организован архив данных, отвечающий самым современным требованиям. Архивные мощности представлены серверами, общий объем доступного дискового пространства превышает несколько десятков терабайт.

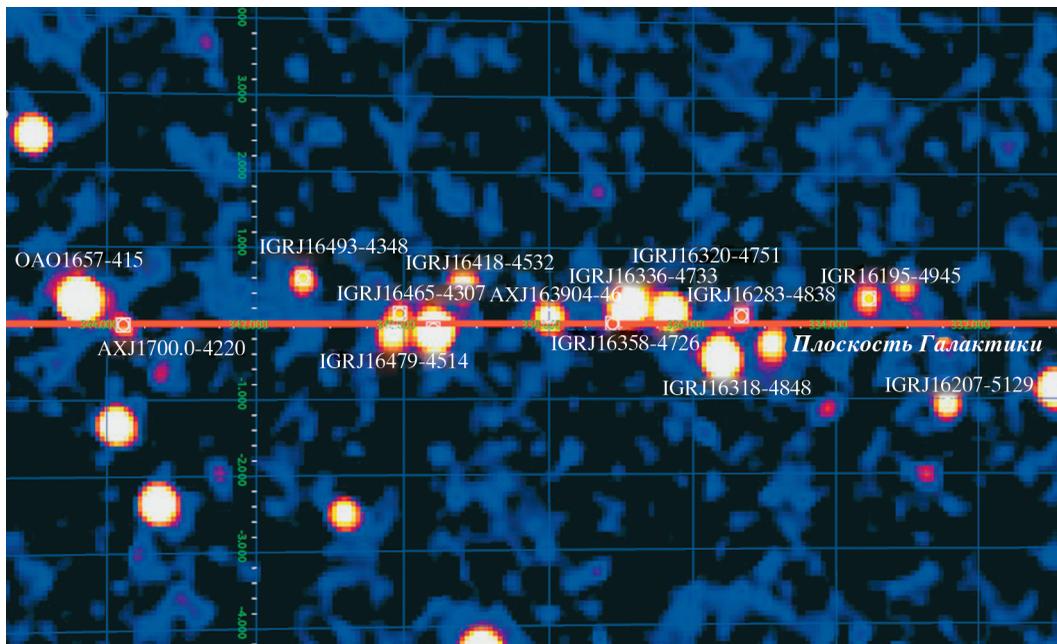
Поскольку данные обсерватории выкладываются в общий доступ после истечения однолетнего периода исключительного пользования заявителями наблюдений, с ними имеют возможность работать научные коллективы всего



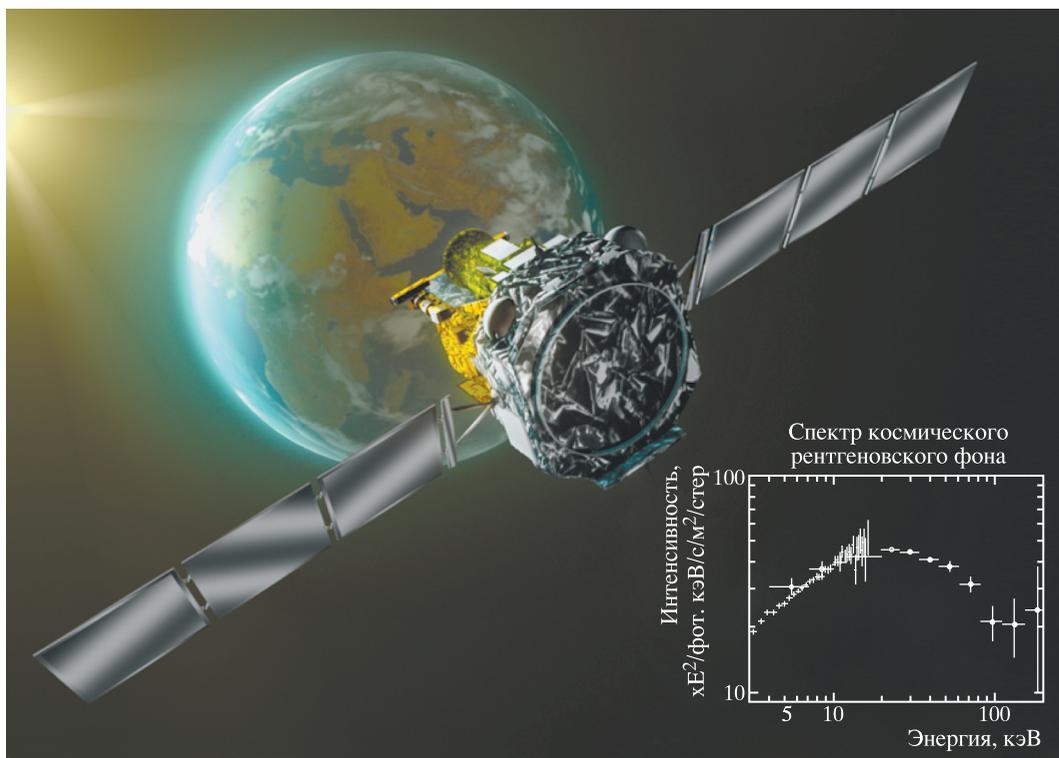
мира. Несмотря на связанную с этим высочайшую конкуренцию, ученые Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН смогли внести существенный, а в ряде

случаев решающий вклад в получение и интерпретацию результатов обсерватории. В течение 12 лет опубликовано более 250 статей российских ученых в ведущих

научных журналах мира, число ссылок на них превысило 4 тыс., защищено 12 диссертаций.



Карта области галактической плоскости в созвездии Наугольника. Источники с индексом IGR открыты во время наблюдений обсерватории "Интеграл". ИКИ РАН.



НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ РЕНТГЕНОВСКОГО НЕБА

Наблюдения в жестком рентгеновском диапазоне энергий, проведенные с 2003 г. обсерваторией «Интеграл», позволили открыть несколько сотен новых рентгеновских источников и исследовать статистические свойства объектов разных классов. Это значительно (примерно в два раза) увеличило полное число жестких рентгеновских источников, известных на небе. В нескольких областях неба выполнены сверхглубокие наблюдения со временем экспозиции от нескольких мегасекунд до нескольких десятков

мегасекунд, позволившие достичь пределов возможностей телескопов с кодирующей апертурой. Ключевую роль в построении высококачественных рентгеновских изображений неба играют алгоритмы, разработанные членом-корреспондентом РАН Е.М. Чуразовым. За создание карт всего неба, составление и обновление каталога жестких рентгеновских источников отвечает кандидат физико-математических наук Р.А. Кривonos.

Уже первые наблюдения нашей Галактики обсерваторией «Интеграл» принесли открытие нового семейства нейтрон-

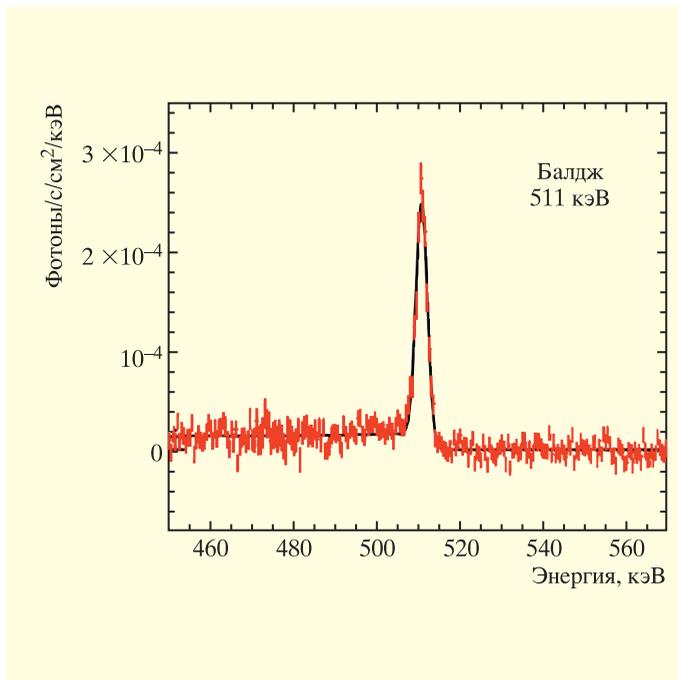
Так, по представлению художника, космическая обсерватория «Интеграл» наблюдала Землю. Измерения проведены с целью отделения инструментального фона детектора от космического фона Вселенной. ESA. Во врезке – спектр космического рентгеновского фона, полученный обсерваторией «Интеграл». ИКИ РАН.

ных звезд, окруженных «коконами» пыли и газа (доктор физико-математических наук М.Г. Ревнивцев с коллегами). Являясь яркими объектами жесткого рентгеновско-

Спектр излучения центральной области Галактики в окрестностях эмиссионной линии двухфотонной аннигиляции позитронов (511 кэВ). Избыток излучения низкоэнергетичной линии связан с трехфотонной аннигиляцией атома позитрония. ИКИ РАН.

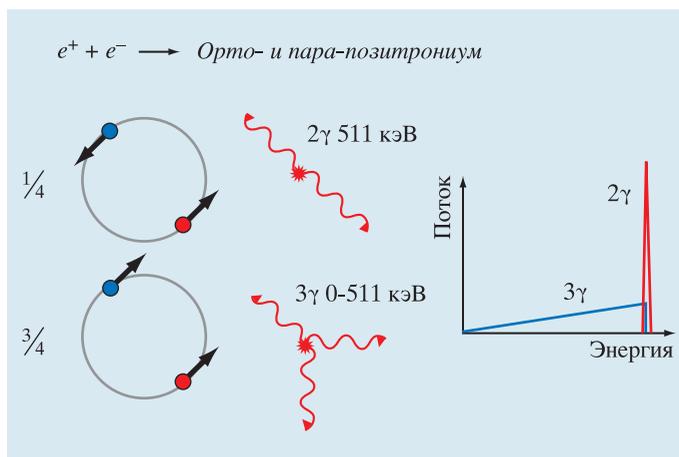
го неба, такие источники практически не видимы в обычном рентгеновском диапазоне (ниже 10 кэВ). Оказалось, что это двойные системы с нейтронными звездами, аккрецирующими вещество с молодых звезд с очень мощными ветрами. К настоящему времени “Интеграл” обнаружил уже несколько десятков таких источников. Кроме того, при активном участии сотрудников Отдела астрофизики высоких энергий был открыт новый класс массивных рентгеновских двойных систем, в которых нейтронные звезды, аккрецирующие вещество с массивных звезд, могут вспыхивать на короткое время, повышая свою яркость иногда в сотни и тысячи раз (доктора физико-математических наук С.А. Гребенев и А.А. Лу-

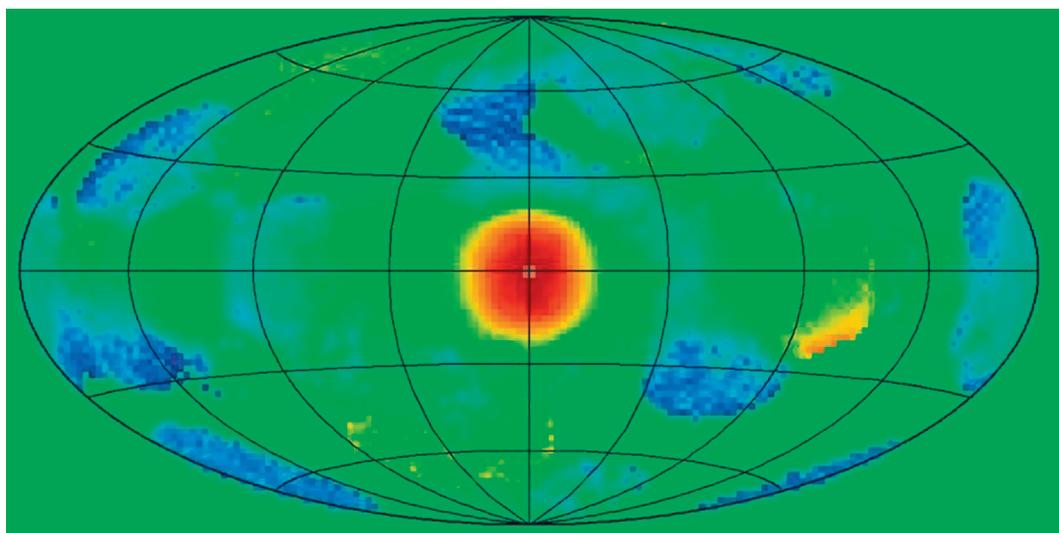
Схема распада атома позитрония в зависимости от взаимной ориентации спинов электрона и позитрона и ожидаемая форма спектра выходящего излучения. ИКИ РАН.



товиннов, кандидат физико-математических наук С.В. Мольков). Возможно, такие вспышки – результат эпизодического преодоления веществом звездного ветра центробежного барьера на границе магнитосферы нейтронной звезды.

В ходе многолетнего обзора Галактики приборы обсерватории “Интеграл” зарегистрировали более сотни массивных рентгеновских двойных систем, почти половина из них ранее не наблюдались. Это позволило А.А. Лутовинову,





М.Г. Ревнивцеву и их коллегам измерить распределение поверхностной плотности таких объектов в Галактике, показать, что оно коррелирует с локальным темпом звездообразования, и сравнить расположение массивных рентгеновских двойных систем с областями их предполагаемого образования.

Жесткий рентгеновский обзор неба, составленный по данным наблюдений обсерватории "Интеграл", позволил провести первый систематический поиск активных ядер галактик второго типа. В других диапазонах длин волн эти объекты не видны за толстым слоем пыли и холодного газа. Обнаружено несколько десятков новых объектов такого типа. Для их исследования в России и других странах проводятся наблюдения на рентгеновских, опти-

ческих и инфракрасных телескопах. Интересный результат, полученный доктором физико-математических наук С.Ю. Сазоновым с коллегами, заключается в том, что относительная доля активных ядер второго типа падает с увеличением светимости.

Считается, что активные ядра галактик вносят основной вклад в космический рентгеновский фон – излучение, пронизывающее все космическое пространство. К сожалению, чувствительности современных жестких рентгеновских детекторов недостаточно, чтобы разрешать отдельные источники в жестком диапазоне (>10 кэВ), на который приходится максимум его интенсивности. Однако важную недостающую информацию об истории роста сверхмассив-

Карта неба в области энергии 511 кэВ (в галактической системе координат). Хорошо видна концентрация излучения в направлении центра Галактики. ИКИ РАН.

ных черных дыр во Вселенной можно получить и другим способом – измеряя спектр жесткого рентгеновского фона. Специально для решения этой задачи ученые Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ в 2006 г. инициировали уникальную программу наблюдений Земли обсерваторией "Интеграл". Ненадолго обсерваторию развернули в сторону нашей планеты, сыгравшей роль гигантского экрана, на время закрывшего от приборов обсерватории излучение далеких источников, составляющих жесткий рентгеновский фон Вселенной. Е.М. Чу-

разову с коллегами по амплитуде затмения на разных энергиях впервые удалось построить спектр фона в диапазоне энергий от 3 до 150 кэВ с точностью около 10%.

“ИНТЕГРАЛ” ИССЛЕДУЕТ ГАЛАКТИКУ

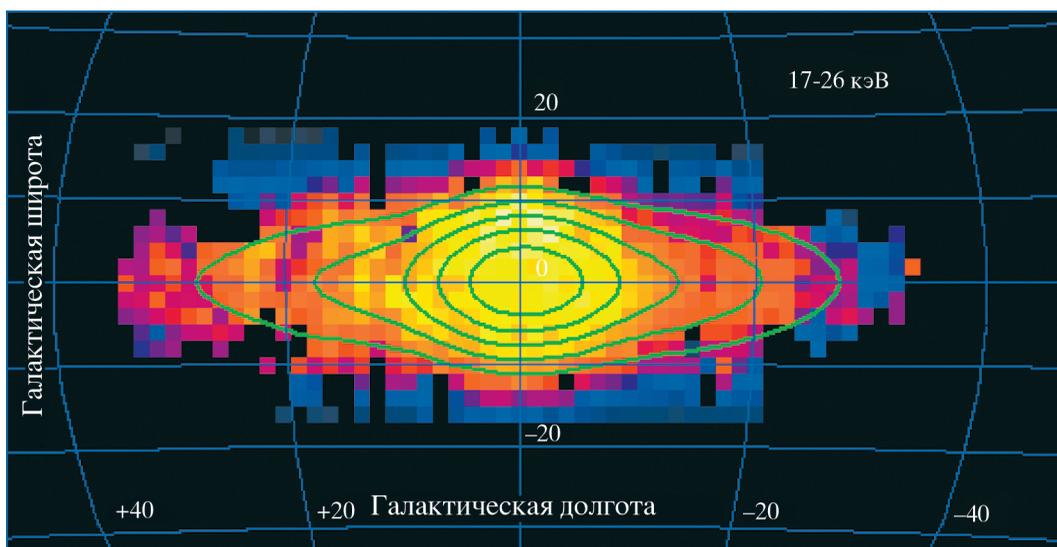
С помощью спектрометра высокого разрешения SPI Е.М. Чуразов с коллегами исследовали гамма-излучение центральной области (балджа) и диска нашей Галактики. В измеренных спектрах выделяются линии на энергиях 511 кэВ и 1,8 МэВ, свя-

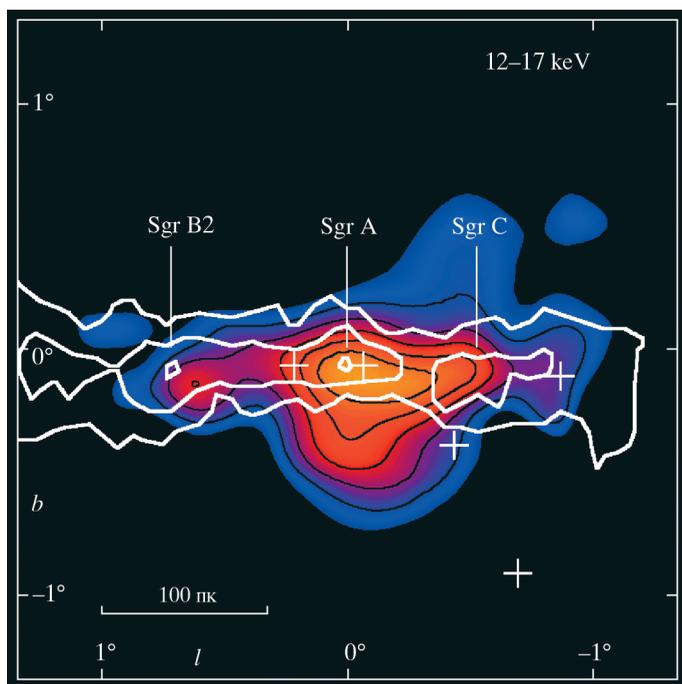
занные соответственно с аннигиляцией электрон-позитронных пар и распадом радиоактивного изотопа ^{26}Al , синтезируемого массивными звездами. Пространственные распределения интенсивности излучения этих линий разительно отличаются: линия 1,8 МэВ тяготеет к диску Галактики, где формируются молодые звезды, тогда как интенсивная аннигиляция позитронов происходит в центральной зоне Галактики. По ширине линии излучения 511 кэВ и относительной яркости трехфотонного континуума на энергиях ниже 511 кэВ было показано, что аннигиляция происходит в теплой, частично ионизованной межзвездной среде, причем не напрямую, а через образование позитрония – короткоживущей связанной системы (атома) из

электрона и позитрона. Наиболее вероятный поставщик позитронов – термоядерные взрывы сверхновых типа Ia. В них синтезируется радиоактивный изотоп ^{56}Ni , который производит позитроны в процессе распада $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$. Однако нельзя исключить и более экзотические сценарии рождения позитронов в центральной зоне Галактики. Важно отметить существенную роль, которую сыграли в обсуждении и интерпретации результатов по линии аннигиляции академики Д.А. Варшалович (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) и В.В. Железняков (ИФ РАН).

Большие поля зрения и одновременно хорошее угловое разрешение телескопов обсерватории “Интеграл” позволили детально изучить “хребет” Галактики – слабое

Карта “хребта” Галактики – слабого протяженного излучения вдоль галактической плоскости. Контурами обозначены области одинаковой поверхностной яркости Галактики в ИК-диапазоне. ИКИ РАН.





Изображение области центра Галактики в диапазоне энергий 12–17 кэВ, полученное телескопом АРТ-П обсерватории “Гранат”. Белые контуры показывают распределение молекулярного газа. Рентгеновское излучение, регистрируемое от молекулярного облака Sgr B2, рождается в результате отражения излучения, произведенного в прошлом сверхмассивной черной дырой Sgr A в центре Галактики. ИКИ РАН.

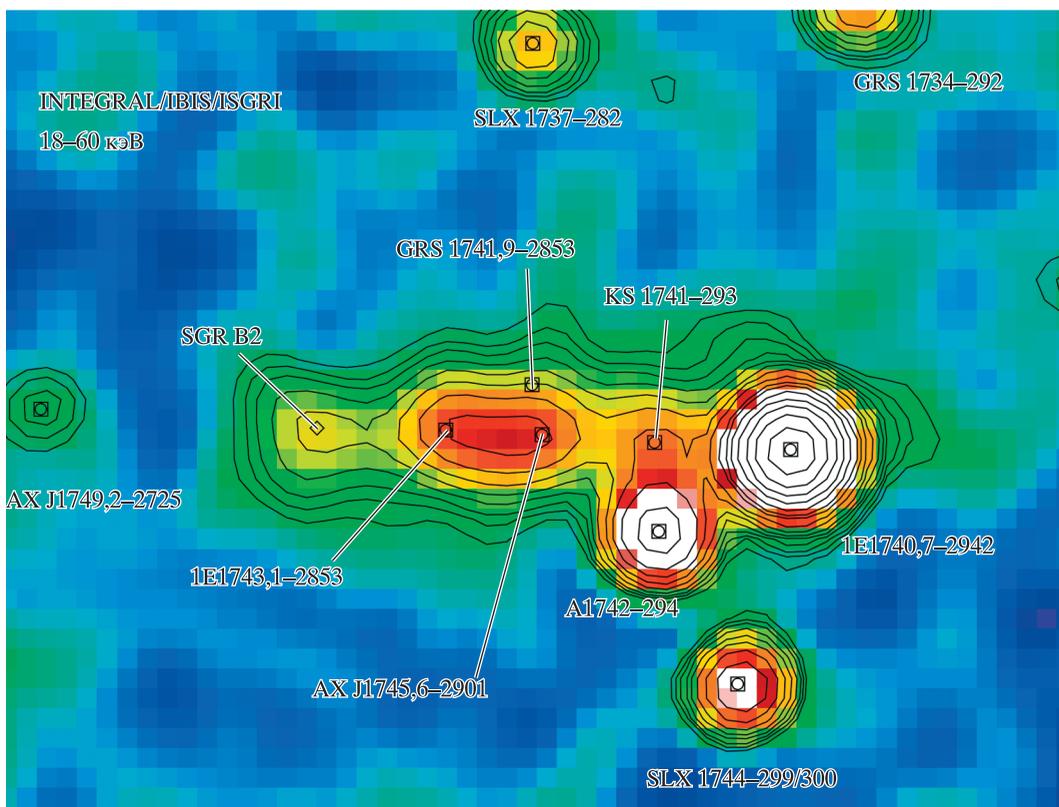
протяженное рентгеновское излучение вдоль галактической плоскости. Его природа оставалась загадкой в течение более четверти века. С помощью обсерватории “Интеграл” были впервые составлены карты и проанализированы спектры “хребта” Галактики. Р.А. Кривonos, М.Г. Ревнивцев и их коллеги смогли показать, что излучение “хребта” Галактики в жестком рентгеновском диапазоне энергий 10–60 кэВ представляет собой суммарное излучение миллионов аккрецирующих белых карликов. На более высоких энергиях (> 100 кэВ) вклад этих источников становится малым и в протяженном излучении Галактики начинает преобладать из-

лучение межзвездной среды.

Наконец, благодаря телескопу IBIS обсерватории “Интеграл” была подтверждена гипотеза, выдвинутая сотрудниками отдела еще в 1990-х гг., о том, что сверхмассивная черная дыра в центре нашей Галактики активно аккрецировала вещество примерно 300 лет назад, а сегодня мы можем наблюдать “эхо” этой активности.

Наблюдения, которые в 1990-х гг. проводила космическая обсерватория “Гранат” (Земля и Вселенная, 1989, № 3; 1993, № 6), показали, что рентгеновское излучение в центре нашей Галактики, где находится сверхмассивная черная дыра с массой $3-4 \times 10^6 M_{\odot}$,

очень слабое. Это означает, что сейчас наша черная дыра не активна, то есть практически не аккрецирует вещество. Но в ходе этих наблюдений было зарегистрировано протяженное жесткое (8–22 кэВ) рентгеновское излучение от гигантского молекулярного облака Sgr B2 в Стрельце, находящегося примерно в 100 пк от сверхмассивной черной дыры. Р.А. Сюняев, М.Л. Маркевич и М.Н. Павлинский предположили, что это излучение – отраженное молекулярным газом излучение черной дыры, которая раньше (около 300 лет назад) была примерно в миллион раз ярче, чем сейчас. Ученые предсказали существование переменного



Карта центра Галактики в диапазоне энергий 17–60кэВ с основными источниками излучения. Среди них выделяется молекулярное облако Sgr B2. Свечение этой области, по всей видимости, формируется в результате отражения прошлого (300 лет назад) излучения центральной черной дыры в нашей Галактике. Изображение получено обсерваторией “Интеграл”. ИКИ РАН.

во времени излучения во флуоресцентной линии железа с энергией 6,4 кэВ.

Этот результат и предсказание спустя почти 15

лет блестяще подтвердились наблюдениями в жестких лучах обсерваторией “Интеграл”, во время которых было зарегистрировано рентгеновское излучение на энергиях 20–150 кэВ от молекулярного облака Sgr B2. Кроме того, в рентгеновских лучах наблюдалась предсказанная яркая линия с энергией 6,4 кэВ. В последующих наблюдениях обнаружено, что это излучение затухает на масштабе 10 лет.

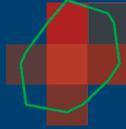
Кроме “Интеграла” наблюдения проводили также с помощью космических обсерваторий “ASCA” (Япония, 1993–

2000), “BeppoSAX” (Нидерланды, 1996–2002), “XMM-Newton” (ESA, NASA; 1999) и “Чандра” (NASA, 1999).

СВЕРХНОВЫЕ – СТАРЫЕ И НОВЫЕ

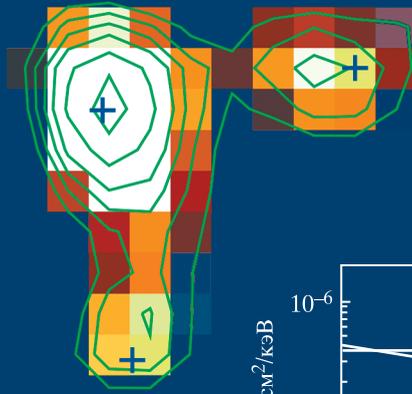
Отдел астрофизики высоких энергий ИКИ оказался “везучим” на редкие события – взрывы близких сверхновых. 23 февраля 1987 г. в ближайшей к нам галактике Большое Магелланово Облако (БМО) в 50 кпк от Солнца вспыхнула сверхновая, которая в пике яркости была видна на пределе чувствительности человеческого глаза.

SN 1987A

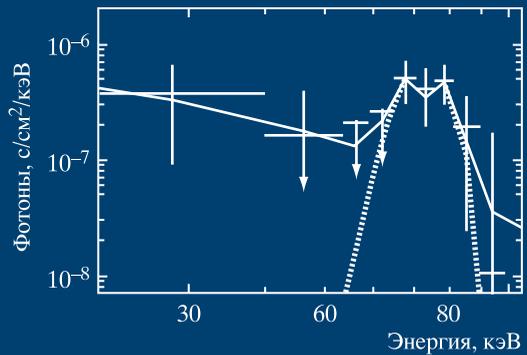


65–82 кэВ

PSR B0540–69



LMC X-1



Сверхновая 1987А – самая яркая, вспыхнувшая за последние 400 лет, со времен Бориса Годунова (Земля и Вселенная, 1989, № 2; 2014, № 3, с. 43). Через месяц после этого события, 31 марта, в космос стартовал модуль “Квант” для орбитальной станции “Мир”. В комплекс научной аппаратуры модуля входила астрофизическая обсер-

ватория “Рентген”, созданная в ИКИ в широкой международной кооперации (Земля и Вселенная, 2000, № 6). Телескопы модуля “Квант” начали систематические наблюдения сверхновой 1987А. Было зарегистрировано ее рентгеновское излучение на энергиях, превышавших 20 кэВ, с очень жестким и необычным спектром,

Область неба вокруг сверхновой SN1987A в диапазоне энергий 65–82 кэВ. В этой области должно формироваться излучение в линиях 67,9 кэВ и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного ^{44}Ti . Во врезке – спектр излучения из области вокруг SN1987A. ИКИ РАН.

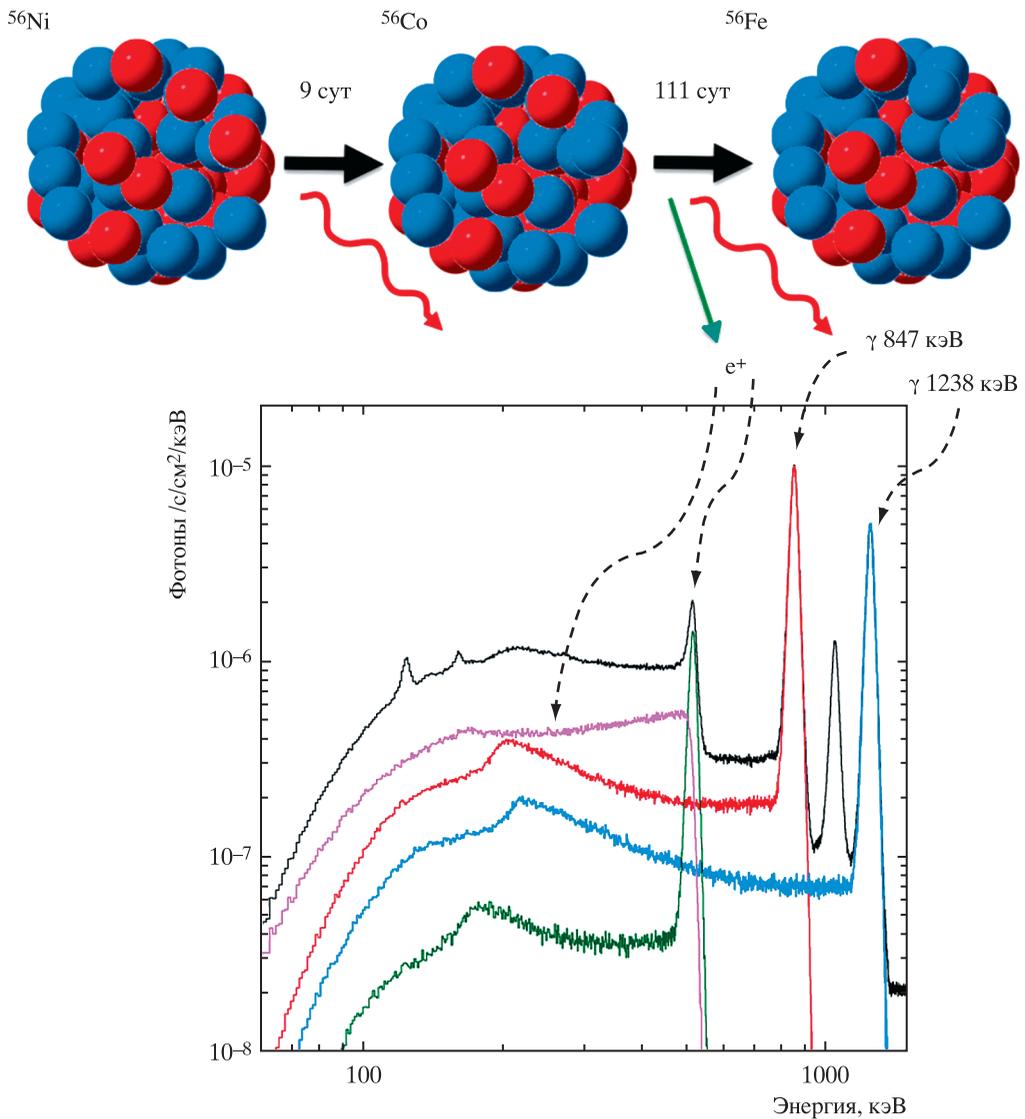


Схема цепочки распада радиоактивного никеля в кобальт и железо. Во врезке: ожидаемый спектр излучения сверхновой на 75-е сутки после взрыва (черная кривая); ожидаемый спектр комптоновского рассеяния линий: 847 кэВ (красная), 1238 кэВ (синяя), аннигиляции позитронов (зеленая), трехфотонной аннигиляции позитрония (сиреневая). ИКИ РАН.

который оказался очень похожим на результаты расчетов, проведенных в ИКИ С.А. Гребневым и Р.А. Сюняевым. Это позволило молодой команде Отдела астрофизики высоких энергий убедить западных коллег, что действительно наблюдается сигнал от взрыва сверхновой звезды, в ходе которого было

синтезировано около 7% массы Солнца в виде радиоактивного ^{56}Ni . Результаты наблюдений были опубликованы в журнале "Nature".

"Эстафету" наблюдений за Сверхновой 1987А продолжил "Интеграл". В результате проведения глубоких наблюдений Большого Магелланова Облака было

зарегистрировано жесткое рентгеновское излучение от остатка Сверхновой 1987А в линиях на энергиях 67,9 и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного ^{44}Ti – еще одного, но долгоживущего изотопа, образовавшегося при взрыве (С.А. Гребенев, А.А. Лутовинов, С.С. Цыганков). Это первое прямое доказательство образования титана во время взрыва SN 1987А. Энергия, выделившаяся при распаде этого изотопа, в настоящее время обеспечивает все оптическое и инфракрасное излучение остатка сверхновой. В 2015 г. американская космическая обсерватория нового поколения “NuSTAR”, использующая в своей работе уникальные зеркала косоугольного падения, позволяющие фокусировать рентгеновское излучение до энергий 80 кэВ, подтвердила регистрацию линий титана в остатке SN 1987А.

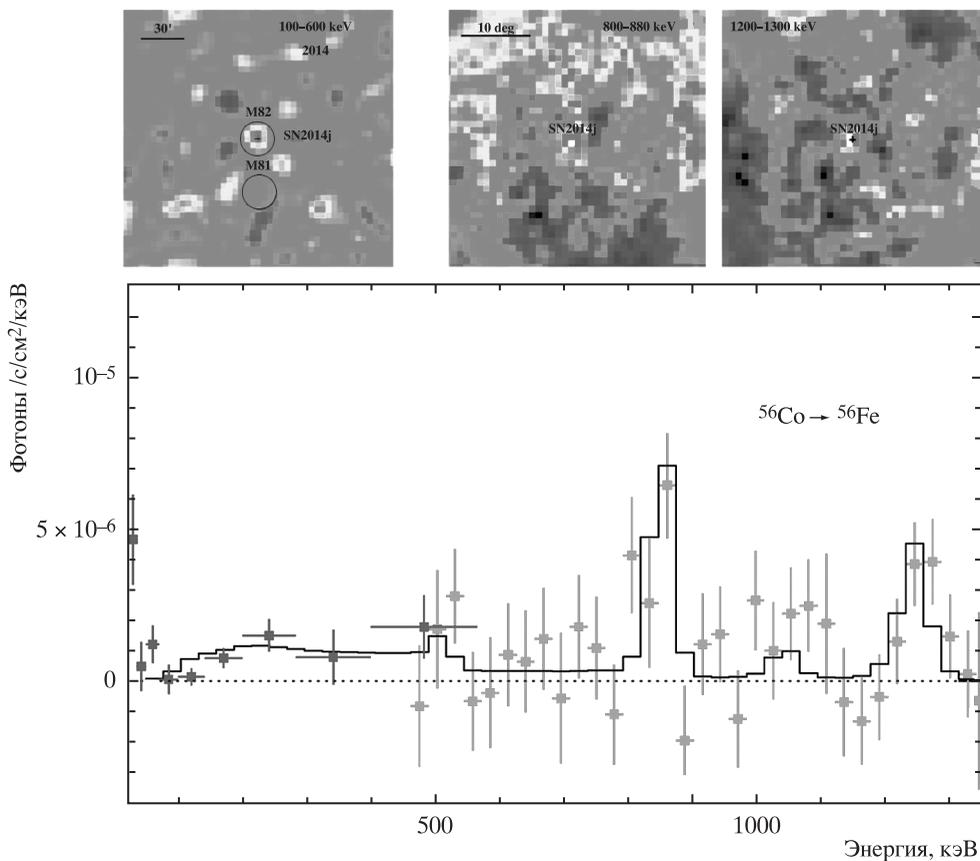
Сверхновая 1987А принадлежит к сверхновым II типа, которые образуются при коллапсе массивной звезды. Совсем недавно, 15 января 2014 г., в галактике M82 (NGC 3034) на расстоянии 3,5 Мпк от Млечного Пути взорвалась сверхновая типа Ia, названная SN2014J. Она оказалась самой близкой сверхновой этого типа за всю эпоху космических обсерваторий.

Сверхновые типа Ia связаны с термоядерными взрывами белых карликов с массой порядка чандрасекаровского предела ($1,4 M_{\odot}$). В процессе взрыва синтезируется большое количество радиоактивного ^{56}Ni , распад которого сопровождается излучением характерных линий в гамма-диапазоне. Высокая скорость разлета и небольшая масса оболочки должны приводить к раннему выходу гамма-излучения. При поддержке Российского научного комитета проекта “Интеграл” программа наблюдений была оперативно изменена, чтобы обеспечить максимальный приоритет исследованию сверхновой. Наблюдения в рамках российской квоты наблюдательного времени начались примерно через 50 сут после взрыва сверхновой (3–19 марта 2014 г.). Российские ученые предположили (и это подтвердилось), что примерно в это время можно будет зарегистрировать распад радиоактивного ^{56}Co при его превращении в ^{56}Fe . Ожидаемые гамма-кванты были зафиксированы гамма-спектрометром SPI обсерватории “Интеграл” в виде двух достаточно узких линий. Такое излучение в гамма-линии от сверхновых типа Ia отмечено впервые.

Считается, что тяжелые элементы (тяжелее углерода и кислорода)

во Вселенной образуются только при взрывах сверхновых, при которых выделяется достаточно энергии, чтобы их синтезировать и “выбросить” наружу. Именно сверхновые, обогатившие межзвездную среду кремнием, кальцием, железом, другими элементами этой группы, сделали возможным образование планет земного типа и зарождение жизни. В результате исследований с помощью обсерватории “Интеграл”, проведенных под руководством Е.М. Чуразова, удалось впервые напрямую подтвердить термоядерную природу таких сверхновых, измерить массу радиоактивного ^{56}Ni и скорость разлета и сравнить предсказания детальных моделей с наблюдаемыми спектрами в гамма-диапазоне (Е.М. Чуразов, Р.А. Сюняев, С.А. Гребенев, С.Ю. Сазонов).

Еще одно открытие, связанное со сверхновыми, относится к гамма-диапазону. Гамма-всплески до недавнего времени оставались одной из загадок астрофизики высоких энергий. Сейчас мы знаем, что по крайней мере часть из них связана со взрывами массивных звезд в далеких галактиках. Обсерватория “Интеграл” регистрирует и локализует примерно десять гамма-всплесков в год. Один из них (GRB 031203) попал 3 декабря 2003 г. в



Спектр SN 2014J, полученный обсерваторией “Интеграл” (50–100-е сутки после вспышки). Темные и светлые точки – данные приборов SPI и ISGRI/IBIS. Черная кривая – модель спектра сверхновой на 75-е сутки после взрыва. Вверху – изображения с источником гамма-излучения на месте SN 2014J, полученные обсерваторией “Интеграл”. ИКИ РАН.

поле зрения телескопа IBIS. Наблюдения наземными оптическими телескопами позволили обнаружить послесвечение всплеска в галактике

($z = 0,11$) и сверхновую, связанную с всплеском. Анализ данных обсерватории “Интеграл”, проведенный С.Ю. Сазоновым, А.А. Лутовиновым и Р.А. Сюняевым, показал, что, хотя временные и спектральные характеристики излучения GRB 031203 вполне обычны, его полная энергия не превышает 10^{50} эрг, это на три порядка меньше обычных значений. Тем самым получено указание на то, что такие слабые всплески могут происходить во Вселенной гораздо чаще “стандартных”.

Необходимо отметить, что наряду с учеными ИКИ РАН замечательные результаты на основе данных обсерватории “Интеграл” были получены коллегами из других российских институтов. В частности, группа под руководством академика А.М. Черепашука и профессора К.А. Постнова (ГАИШ МГУ) неоднократно наблюдала затмения рентгеновского источника в системе SS433 со слаборелятивистскими джеттами с целью определения массы релятивистского объекта. При участии доктора физи-

ко-математических наук Н.И. Шакуры и К.А. Постнова было открыто изменение со временем энергии циклотронной линии в известном пульсаре Геркулес X-1. Группа под руководством доктора физико-математических наук А.М. Быкова (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) исследовала жесткие рентгеновские спектры молодых остатков вспышек сверхновых, связанных с ускорением космических лучей до ультравысоких энергий. Большую роль в определении природы источников, обнаруженных обсерваторией “Интеграл”, сыграли группа под

руководством профессоров Н.А. Сахибуллина и И.Ф. Бикмаева (КФУ), а также коллеги из САО РАН.

В 2014 г. специальная комиссия ESA, рассмотрев полученные результаты и возможные перспективы, признала работу обсерватории “Интеграл” успешной и требующей продолжения. Решением ESA финансирование обсерватории (управление спутником, прием и передача данных, наземная поддержка) гарантировано до конца 2016 г. с возможностью его продления. Важную роль в этом решении

сыграли результаты, полученные российскими учеными, в частности открытие сотрудниками Отдела астрофизики высоких энергий гамма-излучения радиоактивного ^{56}Co от сверхновой типа Ia (SN2014J) в галактике M82 и ^{44}Ti от Сверхновой 1987A в галактике БМО. Принимая во внимание оставшиеся запасы топлива на борту и хорошее состояние телескопов, есть все основания полагать, что обсерватория “Интеграл” будет работать на орбите еще несколько лет, а значит, ученых ждут новые неожиданные открытия.

Новые книги

Из истории космонавтики

Книга *С.Н. Славина* “Космическая битва империй. От Пенемюнде до Плесецка” (М.: Вече, 2015) посвящена истории развития отечественной и зарубежной космонавтики. Автор в популярной форме рассказывает о малоизвестных фактах освоения космоса. Читатель узнает о первых проектах космических двигателей и кораблей, многочисленных трудностях, которые человечество преодолело на пути в неведомое.

Познакомится с первыми, порой фантастическими, доктринами использования околоземного космического пространства, с устройством первых спутников, межпланетных станций, пилотируемых кораблей и орбитальных станций.

В книге шесть глав. Глава “Первые пуски” рассказывает о теоретических работах основоположников космонавтики, обществах межпланетных сообщений, ракетных организациях и создании баллистической ракеты Фау-2. Во второй, «...И тогда полетел спутник», затрагиваются проблемы создания первых ракет и спутников, исследования околоземного космоса, приводятся сведения о программе “Спираль”. Третья, “Эпоха Королёва и Гагари-

на”, повествует о полетах по программам “Восток” и “Восход”, трагедиях при испытаниях КК “Союз-1” и “Аполлон-1”. Четвертая, “На прицеле – Селена”, знакомит читателя с американскими пилотируемыми программами “Джемини” и “Аполлон”, советскими лунными программами Л-3 и “Луноход”. В пятой, “Форты на орбитах”, излагается история орбитальных станций серии “Салют”, “Скайлэб” и “Мир”. В заключительной, “Еще о “звездных войнах”», можно прочитать о программах “Спейс Шаттл”, “Буран” и СОИ, астероидно-кометной опасности.

Книга адресована всем, кто интересуется освоением космоса и историей ракетно-космической техники.